

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-178186

(43)Date of publication of application : 29.06.2001

(51)Int.Cl. H02P 7/00  
G10F 1/02  
H02K 33/00

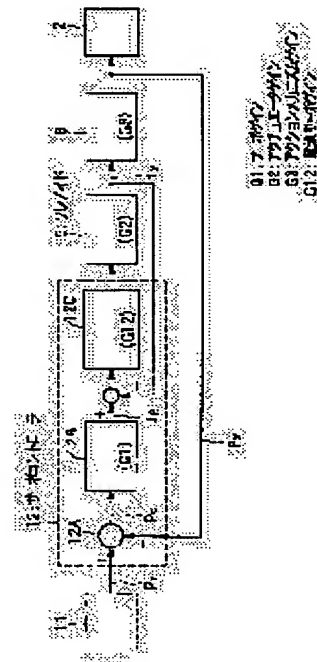
(21)Application number : 11-352033 (71)Applicant : YAMAHA CORP

(22)Date of filing : 10.12.1999 (72)Inventor : ISHII JUN

**(54) DEVICE FOR DRIVING AND CONTROLLING SOLENOID, AND METHOD OF DRIVING AND CONTROLLING SOLENOID****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To reduce inductance effect of solenoid coils when operated and to lower the cost without making a circuit complex.

**SOLUTION:** The time constant of the solenoid coil is estimated, a target current to flow in the solenoid coils is converted based on the inverse function of the transfer function corresponding to the estimated time constant, and a voltage to be impressed to the solenoid coil is calculated, so that the inductance effect of the solenoid coil can be reduced. Also, so current feedback needs to be provided, so that the cost is lowered without having to make the circuit complicated.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2001-178186  
(P2001-178186A)

(43)公開日 平成13年6月29日 (2001.6.29)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 0 2 P 7/00	1 0 1	H 0 2 P 7/00	1 0 1 Z 5 H 5 4 0
G 1 0 F 1/02		G 1 0 F 1/02	B 5 H 6 3 3
H 0 2 K 33/00		H 0 2 K 33/00	A

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願平11-352033

(22)出願日 平成11年12月10日 (1999. 12. 10)

(71)出願人 000004075

ヤマハ株式会社

静岡県浜松市中沢町10番1号

(72)発明者 石井 潤

静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式  
会社内

(74)代理人 100098084

弁理士 川▲崎▼ 研二

Fターム(参考) 5H540 AA10 BA10 BB06 EE05 EE20

FA01 FC02 FC07 FC10

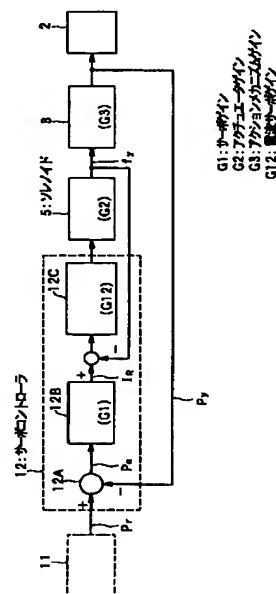
5H633 BB07 BB10 CC02

(54)【発明の名称】 ソレノイド駆動制御装置及びソレノイド駆動制御方法

(57)【要約】

【課題】 ソレノイド駆動時のソレノイドコイルの有するインダクタンス成分による影響を低減し、回路構成を複雑化することなく、コストを低減する。

【解決手段】 ソレノイドコイルの時定数を推定し、推定した時定数に対応するソレノイドコイルの伝達関数の逆関数に基づいて前記ソレノイドコイルに流すべき目標電流値を変換し、ソレノイドコイルに印加すべき電圧を算出するので、ソレノイドコイルの有するインダクタンス成分による影響を低減することができる。また、電流フィードバック回路を設ける必要もないので、回路構成を複雑化することなく、コストを低減することが可能となる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ソレノイドの駆動制御を行うソレノイド駆動制御装置において、

ソレノイドコイルの時定数を推定する時定数推定手段と、

推定した前記時定数に対応する前記ソレノイドコイルの伝達関数の逆関数に基づいて前記ソレノイドコイルに流すべき目標電流値を変換し、前記ソレノイドコイルに印加すべき電圧を算出する印加電圧算出手段と、  
を備えたことを特徴とするソレノイド駆動制御装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載のソレノイド駆動制御装置において、

前記時定数推定手段は、前記ソレノイドコイルの内部抵抗およびインダクタンス成分に基づいて前記時定数を推定することを特徴とするソレノイド駆動制御装置。

【請求項 3】 プランジャを有するソレノイドの駆動制御を行うソレノイド駆動制御装置において、

前記プランジャの位置に基づいてソレノイドコイルの時定数 $\tau$ を推定する時定数推定手段と、

前記時定数 $\tau$ および予め定めた前記ソレノイドの内部抵抗に対応する前記ソレノイドコイルの伝達関数の逆関数に基づいて前記ソレノイドコイルに流すべき目標電流値を変換し、前記ソレノイドコイルに印加すべき電圧を算出する印加電圧算出手段と、  
を備えたことを特徴とするソレノイド駆動制御装置。

【請求項 4】 請求項 3 記載のソレノイド駆動制御装置において、

前記時定数推定手段は、前記プランジャの位置に加えて前記ソレノイドコイルの温度に基づいて前記時定数を推定することを特徴とするソレノイド駆動制御装置。

【請求項 5】 請求項 3 記載のソレノイド駆動制御装置において、

前記時定数推定手段は、前記プランジャの位置に加えて前記ソレノイドコイルを流れる電流に基づいて前記時定数を推定することを特徴とするソレノイド駆動制御装置。

【請求項 6】 請求項 3 記載のソレノイド駆動制御装置において、

前記ソレノイドコイルの温度に基づいて当該ソレノイドコイルの内部抵抗値を推定し、推定内部抵抗値として出力する内部抵抗推定手段を備え、

前記印加電圧算出手段は、前記ソレノイドコイルに印加すべき電圧を算出するに際し、前記ソレノイドコイルの内部抵抗値として前記推定内部抵抗値を用いる、  
ことを特徴とするソレノイド駆動制御装置。

【請求項 7】 ソレノイドの駆動制御を行うソレノイド駆動制御方法において、

前記ソレノイドの時定数を推定する時定数推定過程と、  
推定した前記時定数に対応する前記ソレノイドコイルの伝達関数の逆関数並びに前記ソレノイドコイルに流すべ

き目標電流値に基づいて前記ソレノイドコイルに印加すべき電圧を算出する印加電圧算出過程と、

を備えたことを特徴とするソレノイド駆動制御方法。

【請求項 8】 プランジャを有するソレノイドの駆動制御を行うソレノイド駆動制御方法において、

前記プランジャの位置に基づいてソレノイドコイルの時定数 $\tau$ を推定する時定数推定過程と、

前記時定数 $\tau$ および予め定めた前記ソレノイドの内部抵抗に対応する前記ソレノイドコイルの伝達関数の逆関数並びに前記ソレノイドコイルに流すべき目標電流値に基づいて前記ソレノイドコイルに印加すべき電圧を算出する印加電圧算出過程と、

を備えたことを特徴とするソレノイド駆動制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ソレノイド駆動制御装置およびソレノイド駆動制御方法に係り、特に自動ピアノの鍵あるいはペダルを駆動するために用いられるソレノイドの駆動制御を行うためのソレノイド駆動制御装置およびソレノイド駆動制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】ピアノの演奏においては、演奏者が鍵を押下すると、これに連動してダンパが弦から離れるとともにハンマが回転し、打弦が行われる。このため、自動演奏を行う自動ピアノにおいては、上記一連の動作に基づいて演奏情報を生成して記録し、再生時には読み出された演奏情報に基づいて鍵あるいはペダルの動作を制御することが行われる。この場合の鍵あるいはペダルの制御においては、演奏情報に基づいて、一方においてアクチュエータであるソレノイドを励磁して鍵を駆動し、これに応じてハンマが回転して打弦を行なっている。なお、以下の説明においては、説明の簡略化のため、鍵の駆動を中心として説明する。

【0003】ところで、電子楽器の分野においては、演奏情報をデジタル信号として伝達するためのインターフェースとしてMIDI (Musial Instrument Digital Interface) が知られている。MIDIメッセージは、8ビットを1バイト単位とするシリアルデータで表され、メッセージの種類を指示するステータスとデータから構成される。このステータスには、鍵盤を押すことを示すノートオンと鍵盤を離すことを示すノートオフがある。

【0004】上述した自動ピアノの演奏情報は、このMIDI規格に準拠するものが多い。この場合、ピアノのある動作はイベントと称される1つのMIDIメッセージで表され、複数のイベントによって演奏情報が構成される。そして、押鍵→打弦→離鍵→消音という一連の動作は、ハンマーが弦を打つことを指示する打弦イベント（ノートオンに対応）と、ダンパが弦に接することを指示する離鍵イベント（ノートオフに対応）とによって表されることが多かった。

## 【0005】[1] 第1従来例

上記自動ピアノの鍵の駆動制御方式としては、オープンループ制御方式が知られている。このオープンループ制御方式によれば、ノートオン入力時には、ソレノイドに打弦速度に対応する駆動電流を流して、アクションメカニズムを介してハンマーを駆動して打弦を行い、ノートオフ入力時には、ソレノイドに離鍵速度に対応する駆動電流を流して、アクションメカニズムを介してハンマーを駆動して離鍵を行うように構成されていた。

## 【0006】[2] 第2従来例

また、上記自動ピアノの他の駆動制御方式としては、駆動電流量のフィードバック制御を行う電流フィードバック回路を設けたものが提案されている。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記第1従来例のオープン制御方式においては、ソレノイドコイルの有するインダクタンス成分により電圧の立ち上がりに対して駆動電流の立ち上がり（推力）が遅延してしまうという不具合があった。また、第2従来例においては、駆動電流量のフィードバック制御を行うための電流フィードバックを設ける必要があるため、回路構成が複雑となるとともに、コストが上昇してしまうという問題点があった。そこで、本発明の目的は、ソレノイドコイルの有するインダクタンス成分による影響を低減し、回路構成を複雑化することなく、コストを低減することが可能なソレノイド駆動制御装置及びソレノイド駆動制御方法を提供することにある。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、請求項1記載の構成は、ソレノイドの駆動制御を行うソレノイド駆動制御装置において、ソレノイドコイルの時定数を推定する時定数推定手段と、推定した前記時定数に対応する前記ソレノイドコイルの伝達関数の逆関数に基づいて前記ソレノイドコイルに流すべき目標電流値を変換し、前記ソレノイドコイルに印加すべき電圧を算出する印加電圧算出手段と、を備えたことを特徴としている。

【0009】請求項2記載の構成は、請求項1記載の構成において、前記時定数推定手段は、前記ソレノイドコイルの内部抵抗およびインダクタンス成分に基づいて前記時定数を推定することを特徴としている。

【0010】請求項3記載の構成は、ブランジャを有するソレノイドの駆動制御を行うソレノイド駆動制御装置において、前記ブランジャの位置に基づいてソレノイドコイルの時定数 $\tau$ を推定する時定数推定手段と、前記時定数 $\tau$ および予め定めた前記ソレノイドの内部抵抗に対応する前記ソレノイドコイルの伝達関数の逆関数に基づいて前記ソレノイドコイルに流すべき目標電流値を変換\*

$$v = (S \cdot L + RL) \cdot i$$

これを変形すると(2)式が得られる。

\*し、前記ソレノイドコイルに印加すべき電圧を算出する印加電圧算出手段と、を備えたことを特徴としている。

【0011】請求項4記載の構成は、請求項3記載の構成において、前記時定数推定手段は、前記ブランジャの位置に加えて前記ソレノイドコイルの温度に基づいて前記時定数を推定することを特徴としている。

【0012】請求項5記載の構成は、請求項3記載の構成において、前記時定数推定手段は、前記ブランジャの位置に加えて前記ソレノイドコイルを流れる電流に基づいて前記時定数を推定することを特徴としている。

【0013】請求項6記載の構成は、請求項3記載の構成において、前記ソレノイドコイルの温度に基づいて当該ソレノイドコイルの内部抵抗値を推定し、推定内部抵抗値を出力する内部抵抗推定手段を備え、前記印加電圧算出手段は、前記ソレノイドコイルに印加すべき電圧を算出するに際し、前記ソレノイドコイルの内部抵抗値として前記推定内部抵抗値を用いる、ことを特徴としている。

【0014】請求項7記載の構成は、ソレノイドの駆動制御を行うソレノイド駆動制御方法において、前記ソレノイドの時定数を推定する時定数推定過程と、推定した前記時定数に対応する前記ソレノイドコイルの伝達関数の逆関数並びに前記ソレノイドコイルに流すべき目標電流値に基づいて前記ソレノイドコイルに印加すべき電圧を算出する印加電圧算出過程と、を備えたことを特徴としている。

【0015】請求項8記載の構成は、ブランジャを有するソレノイドの駆動制御を行うソレノイド駆動制御方法において、前記ブランジャの位置に基づいてソレノイドコイルの時定数 $\tau$ を推定する時定数推定過程と、前記時定数 $\tau$ および予め定めた前記ソレノイドの内部抵抗値に対応する前記ソレノイドコイルの伝達関数の逆関数並びに前記ソレノイドコイルに流すべき目標電流値に基づいて前記ソレノイドコイルに印加すべき電圧を算出する印加電圧算出過程と、を備えたことを特徴としている。

## 【0016】

【発明の実施の形態】次に図面を参照して本発明の好適な実施形態について説明する。

## [1] 原理説明

まず、具体的な実施形態の説明に先立ち、実施形態の原理説明を行う。図1にソレノイドを構成するソレノイドコイルの等価回路を示す。図1に示すように、ソレノイドを構成するソレノイドコイルの等価回路は、内部抵抗RLとインダクタンス成分Lとを直列に接続した回路で表される。ここで、ソレノイドコイルの両端に印加される電圧を $v$ とし、ソレノイドコイルに流れる電流を $i$ とし、当該ソレノイドコイル固有の係数を $S$ とすると、

(1)式が成立する。

$$\dots\dots (1)$$

$$\begin{aligned} i/v &= 1/(S \cdot L + RL) \\ &= (1/L) / \{S + (RL/L)\} \end{aligned} \quad \dots (2)$$

【0017】また、ソレノイドコイルの時定数 $\tau$ は、 \* \* (3) 式により表される。

$$\tau = L/RL \quad \dots (3)$$

ところで、ソレノイドの伝達特性をうち消し、当該ソレノイドの入出力関係をリニアにするためには、上記(2)式で表されるソレノイドについての伝達関数の逆関数を求め、掛け合わせるようにすればよい。より具体的には、例えば、ソレノイドの伝達関数が、図2に実線※

$$H(S) = (K/\omega_0) \cdot (S + \omega_0) \quad \dots (4)$$

従って、補償回路の伝達関数 $H(S)$ は $\log \omega = \omega_0$ を境として6 [dB/oct] で上昇する特性を有し、さら ☆

$$K = RL \quad \dots (5)$$

$$\omega_0 = RL/L \quad \dots (6)$$

そこで、(4)式に対して双一次変換を施し、サンプリング間隔を $T$ とした場合に、係数 $S$ として、

$$S = (2/T) \cdot \{(1 - Z^{-1}) / (1 + Z^{-1})\} \quad ☆$$

※で示すようなものである場合には、補償回路(補償手段)の伝達関数を図2に一点鎖線で示すようなものとする。

【0018】ここで、補償回路の伝達関数 $H(S)$ は(4)式で表される。

☆に、(5)式および(6)式を満たせば良い。

☆を代入する。すなわち、

【数1】

$$\begin{aligned} H(S) &= \frac{K}{\omega_0} (S + \omega_0) \\ &= \frac{K}{\omega_0} \left( \frac{2}{T} \frac{1 - Z^{-1}}{1 + Z^{-1}} + \omega_0 \right) \\ &= \frac{K}{\omega_0} \cdot \frac{\frac{2}{T} - \frac{2}{T} Z^{-1} + \omega_0 + \omega_0 Z^{-1}}{1 + Z^{-1}} \\ &= K \cdot \frac{\left(1 + \frac{2}{\omega_0 T}\right) + \left(1 - \frac{2}{\omega_0 T}\right) Z^{-1}}{1 + Z^{-1}} \end{aligned} \quad \dots (7)$$

となる。さらに(7)式に(3)式(5)式および ◇の通りとなる。

(6)式を代入すると、得られる補償回路の伝達関数 $H$  30 【数2】

(S)、すなわち、ソレノイドの逆伝達関数は、(8)式 ◇

$$H(S) = RL \cdot \frac{\left(1 + \frac{2\tau}{T}\right) + \left(1 - \frac{2\tau}{T}\right) Z^{-1}}{1 + Z^{-1}} \quad \dots (8)$$

【0019】従って、(8)式の伝達関数を有する補償回路を構成して、ソレノイドに実際に印加すべき電圧を求めれば、ソレノイドの入出力関係をリニアにすることが可能となるのである。

【0020】[2] 第1実施形態

次に図面を参照して本発明の好適な第1実施形態について説明する。

[2.1] 第1実施形態の全体構成

まず、第1実施形態の構成について説明する。図3に第1実施形態としてソレノイドを自動ピアノの再生駆動系に用いた場合の概要構成図を示す。自動ピアノは、鍵1の運動をハンマ2に伝達するアクションメカニズム3と、ハンマ2によって打弦される弦4と、鍵1を駆動するソレノイド5と、弦4の振動を止めるためのダンパ6と、を備えて構成されている。さらに自動ピアノは、記録メディアあるいはリアルタイム通信装置から供給され

る演奏データに基づいて、鍵の軌道データを生成するとともに軌道データを用いて鍵の原位置指示値( $t$ ,  $Pr$ )を生成する再生前処理部10と、供給された原位置指示値( $t$ ,  $Pr$ )に基づいて、各時刻における鍵1の位置に対応した位置指示値 $Pr$ を生成し出力するモーションコントローラ11と、位置指示値 $Pr$ に応じた励磁電流をソレノイド5に供給するとともに、ソレノイド5から供給されるフィードバック信号としての出力位置 $Py$ と位置指示値 $Pr$ を比較し、両者が一致するようにサーボ制御を行うサーボコントローラ12と、を備えて構成されている。

【0021】[2.2] サーボ制御系の構成

図4に実施形態のサーボ制御系のブロック図を示す。実施形態のサーボ制御系は、モーションコントローラ11から入力される位置指示値 $Pr$ 及び実際の鍵1の速度である出力位置 $Py$ の差である位置偏差 $Pe$ を生成し、位

置偏差 $P_e$ 及びサーボゲイン $G1$ に対応してアクチュエータであるソレノイド5に対する電流指示値 $I_R$ を生成するサーボコントローラ12と、電流指示値 $I_R$ 及びアクチュエータゲイン $G2$ に対応してアクションメカニズム3を駆動するための出力 $f_y$ を生成するソレノイド5と、出力 $f_y$ 及びアクションメカニズムゲイン $G3$ に対応する出力位置 $P_y$ で鍵1を駆動するアクションメカニズム3と、を備えて構成されている。サーボコントローラ12は、位置指示値 $P_r$ 及び実際の鍵1の速度である出力位置 $P_y$ の差である位置偏差 $P_e$ を生成する差動ユニット12Aと、位置偏差 $P_e$ より電流指示値 $I_R$ を生成するサーボアンプ12Bと、電流指示値 $I_R$ に基づいて出力電圧 $v_R$ を生成するサーボアンプユニット12Cと、を備えて構成されている。

【0022】[2. 3] サーボアンプユニットの構成図5にサーボアンプユニット12Cをデジタル信号処理回路であるデジタルフィルタ回路(High Boost Filter回路)で実現した場合の回路ブロック図を示す。この回路は、(8)式を回路表現したものである。サーボアンプユニット12Cは、電流指示値 $I_R$ に後述の係数乗算器23の出力を加算して出力する加算器21と、加算器21の出力をサンプリング間隔 $T$ に相当する時間だけ遅延して出力する遅延器22と、遅延器22の出力に係数 $-1$ を乗じて加算器21に出力する係数乗算器23と、加算器21の出力に係数 $\{1 + (2\tau/T)\}$ を乗じて出力する係数乗算器24と、遅延器22の出力に係数 $\{1 - (2\tau/T)\}$ を乗じて出力する係数乗算器25と、係数乗算器24および係数乗算器25の出力を加算して出力する加算器26と、加算器26の出力に内部抵抗 $R_L$ の値を乗じて電流指示値 $I_R$ として出力する係数乗算器27と、を備えて構成されている。

【0023】[2. 4] 第1実施形態の自動ピアノの再生駆動系の動作

再生前処理部10は、記録メディアあるいはリアルタイム通信装置から供給される演奏データに基づいて、鍵の軌道データを生成するとともに軌道データを用いて鍵の原位置指示値( $t$ ,  $P_r$ )を生成し、モーションコントローラ11に供給する。モーションコントローラ11は、供給された原位置指示値( $t$ ,  $P_r$ )に基づいて、各時刻における鍵1の位置に対応した位置指示値 $P_r$ を生成しサーボコントローラ12に出力する。サーボコントローラ12の差動ユニット12Aは、位置指示値 $P_r$ 及び実際の鍵1の速度である出力位置 $P_y$ の差である位置偏差 $P_e$ を生成し、サーボアンプ12Bに出力する。これによりサーボアンプ12Bは、位置偏差 $P_e$ に対応する電流目標値 $i_R$ を設定し、サーボアンプユニット12Cに出力する。サーボアンプユニット12Cの加算器21は、この電流目標値 $i_R$ に係数乗算器23の出力を加算して遅延器22および係数乗算器24に出力する、

【0024】これにより遅延器22は、加算器21の出力をサンプリング間隔 $T$ に相当する時間だけ遅延して係数乗算器23および係数乗算器25に出力する。係数乗算器23は、遅延器22の出力に係数 $-1$ を乗じて加算器21に出力し、係数乗算器25は、遅延器22の出力に係数 $\{1 - (2\tau/T)\}$ を乗じて加算器26に出力する。一方、係数乗算器24は、加算器21の出力に係数 $\{1 + (2\tau/T)\}$ を乗じて加算器26に出力する。加算器26は、係数乗算器24および係数乗算器25の出力を加算して係数乗算器27に出力する。これらの結果、係数乗算器27は、加算器26の出力に内部抵抗 $R_L$ の値を乗じて電流指示値 $I_R$ として出力することとなる。従って、サーボコントローラ12、より詳細には、サーボアンプユニット12Cは、(8)式の伝達関数を有する補償回路を構成することとなり、電流指示値 $I_R$ により、ソレノイド5の入出力関係をリニアにすることが可能となる。

【0025】[2. 5] 第1実施形態の効果

以上の説明のように本第1実施形態によれば、ソレノイドの逆特性、すなわち、ソレノイドの伝達関数の逆関数をデジタル回路により実現し、ソレノイドのインダクタンス成分 $L$ をうち消すような構成としているので、実際にソレノイドコイルに流れる電流の立ち上がりを速くすることができ、応答性が高く制御性の高いシステムを容易に構築することができる。また、電流フィードバック回路を設ける必要もなくなり、回路構成を簡略化することができる。

【0026】[3] 第2実施形態

以上の第1実施形態においては、時定数 $\tau$ および内部抵抗 $R_L$ は一定であるものとして、説明した。しかしながら、時定数 $\tau$ は、一般的には、プランジャの位置、ソレノイドコイルを流れる電流およびソレノイドコイルの温度に依存する。すなわち、時定数 $\tau$ は、プランジャの位置、ソレノイドコイルを流れる電流およびソレノイドコイルの温度の関数として表すことができる。また、内部抵抗(値) $R_L$ はソレノイドコイルの温度に依存する。すなわち、内部抵抗 $R_L$ は、ソレノイドコイルの温度の関数として表すことができる。そこで、本第2実施形態においては、時定数 $\tau$ をプランジャの位置、ソレノイドコイルを流れる電流およびソレノイドコイルの温度により推定し、内部抵抗(値) $R_L$ をソレノイドコイルの温度により推定することにより、より精度の高い制御を実現するものである。本第2実施形態と上記第1実施形態とは、原理的には、サーボアンプユニットの構成が異なるだけであるので、以下、主として、サーボアンプユニットについて説明し、他の部分については、第1実施形態の図面を参照して説明する。

【0027】[3. 1] サーボアンプユニットの構成図6に本第2実施形態のサーボアンプユニット12C'をデジタル信号処理回路であるデジタルフィルタ回

路 (High Boost Filter回路) で実現した場合の回路ブロック図を示す。図 6 において、図 5 と同様の部分には同一の符号を付す。サーボアンプユニット 12C' は、電流指示値  $i_R$  に後述の係数乗算器 23 の出力を加算して出力する加算器 21 と、加算器 21 の出力をサンプリング間隔  $T$  に相当する時間だけ遅延して出力する遅延器 22 と、遅延器 22 の出力に係数  $-1$  を乗じて加算器 21 に出力する係数乗算器 23 と、加算器 21 の出力に後述の  $\tau$  推定器 32 により推定された時定数  $\tau$  により定まる係数  $\{1 + (2\tau/T)\}$  を乗じて出力する係数乗算器 24' と、遅延器 22 の出力に後述の  $\tau$  推定器 32 により推定された時定数  $\tau$  により定まる係数  $\{1 - (2\tau/T)\}$  を乗じて出力する係数乗算器 25' と、係数乗算器 24' および係数乗算器 25' の出力を加算して出力する加算器 26 と、加算器 26 の出力に後述の RL 推定器により推定された内部抵抗 RL の値を乗じて電流指示値  $i_R$  として出力する係数乗算器 27' と、ソレノイドコイル温度  $t_L$  に基づいて、ソレノイドコイルの内部抵抗 RL (推定内部抵抗に相当) を推定し出力する RL 推定器 31 と、ソレノイドを構成するプランジャの位置  $p$ 、電流指示値  $i_R$  およびソレノイドコイル温度  $t_L$  に基づいて、ソレノイドコイルの時定数  $\tau$  を推定し出力する  $\tau$  推定器 32 と、 $\tau$  推定器 32 の出力に係数  $2/T$  を乗じて出力する係数乗算器 33 と、係数乗算器 33 の出力に係数  $-1$  を乗じて出力する係数乗算器 34 と、係数乗算器 34 の出力に 1 を加算して係数乗算器 25' の係数  $\{1 - (2\tau/T)\}$  を出力する加算器 35 と、係数乗算器 33 の出力に 1 を加算して係数乗算器 24' の係数  $\{1 + (2\tau/T)\}$  を出力する加算器 36 と、を備えて構成されている。

【0028】 [3. 2] 内部抵抗および時定数の推定  
ここで、内部抵抗 (値) RL および時定数  $\tau$  の推定についてより具体的に説明する。なお、以下に述べるのは、一具体例であり、実際には、制御対象のソレノイドは多種、多様であるため、内部抵抗 (値) RL および時定数  $\tau$  の特性は大きく異なっているため、実際のソレノイドに応じて測定などを行って推定方法を定める必要がある。

### [3. 2. 1] 内部抵抗の推定

あるソレノイドにおける内部抵抗 (値) RL とコイル温度  $t_L$  との関係は、例えば、図 7 (a) に示すようなものとなっており、コイル温度  $t_L$  を検出することにより一義的に内部抵抗 (値) RL を推定することが可能となる。

### 【0029】 [3. 2. 2] 時定数 $\tau$ の推定

あるソレノイドにおける時定数  $\tau$  と、プランジャの位置、ソレノイドコイルを流れる電流およびソレノイドコイルの温度との関係は、多次元であるが、便宜的にいずれか二つを一定値とした場合の関係を図 7 (b) ~ 図 7 (d) に示す。時定数  $\tau$  とコイル温度  $t_L$  との関係は、

ソレノイドコイルを流れる電流およびプランジャの位置を一定値とした場合には、例えば、図 7 (b) に示すようなものとなっている。また、時定数  $\tau$  とプランジャの位置  $p$  との関係は、ソレノイドコイルを流れる電流およびソレノイドコイルの温度  $t_L$  を一定値とした場合には、例えば、図 7 (c) に示すようなものとなっている。さらに、時定数  $\tau$  とソレノイドコイルを流れる電流  $i_R$  との関係は、プランジャの位置  $p$  およびソレノイドコイルの温度  $t_L$  を一定値とした場合には、例えば、図 7 (d) に示すようなものとなっている。

【0030】 従って、実際に推定を行う場合には、上記図 7 (b) ~ 図 7 (d) に示す関係を様々な条件で実測し、その複雑度に応じて、例えば、テーブル変換、ニューラルネットワーク、ファジィ推論などの多入力 1 出力のデータ変換器として、 $\tau$  推定器を構成すれば良い。また、例えば、図 8 (a) あるいは図 8 (b) に示すように、内部抵抗  $RL = 9.7 [\Omega]$  あるいは内部抵抗  $RL = 98.1 [\Omega]$  の場合のプランジャ位置  $p$  およびソレノイドコイルのインダクタンスの関係であるソレノイド特性を予め測定しておき、推定した内部抵抗 RL により近い内部抵抗値において測定した測定したソレノイド特性に基づいて得られたプランジャ位置  $p$  に対応するインダクタンスを算出し、この算出したインダクタンスおよび内部抵抗 RL の値から次式により時定数  $\tau$  を算出するように構成しても良い。

$$\tau = (\text{インダクタンス} / RL)$$

【0031】 [3. 3] 第 2 実施形態のサーボアンプユニットの動作

モーションコントローラ 11 により、各時刻における鍵 1 の位置に対応した位置指示値  $P_r$  がサーボコントローラ 12 に出力されると、差動ユニット 12A は、位置指示値  $P_r$  及び実際の鍵 1 の速度である出力位置  $P_y$  の差である位置偏差  $P_e$  を生成し、サーボアンプ 12B に出力する。サーボアンプ 12B は、位置偏差  $P_e$  に対応する電流目標値  $i_R$  を設定し、サーボアンプユニット 12C' に出力する。これによりサーボアンプユニット 12C' の加算器 21 は、この電流目標値  $i_R$  に係数乗算器 23 の出力を加算して遅延器 22 および係数乗算器 24' に出力する、これにより遅延器 22 は、加算器 21 の出力をサンプリング間隔  $T$  に相当する時間だけ遅延して係数乗算器 23 および係数乗算器 25' に出力する。係数乗算器 23 は、遅延器 22 の出力に係数  $-1$  を乗じて加算器 21 に出力する。

【0032】 一方、RL 推定器 31 は、入力されたソレノイドコイル温度  $t_L$  に基づいて、ソレノイドコイルの内部抵抗 (値) RL を推定し係数乗算器 27' に出力する。また、 $\tau$  推定器 32 は、ソレノイドを構成するプランジャの位置  $p$ 、電流目標値  $i_R$  およびソレノイドコイル温度  $t_L$  に基づいて、ソレノイドコイルの時定数  $\tau$  を推定し係数乗算器 33 に出力する。係数乗算器 33 は、



$\tau$  推定器 32 の出力に係数  $= 2/T$  を乗じて係数乗算器 34 および加算器 36 に出力する。係数乗算器 34 は、係数乗算器 33 の出力に係数  $= -1$  を乗じて加算器 35 に出力する。加算器 35 は、係数乗算器 34 の出力に 1 を加算して係数  $= \{1 - (2\tau/T)\}$  を係数乗算器 25' に出力し、係数乗算器 25 は、遅延器 22 の出力に係数  $= \{1 - (2\tau/T)\}$  を乗じて加算器 26 に出力する。また、加算器 36 は、係数乗算器 33 の出力に 1 を加算して係数  $= \{1 + (2\tau/T)\}$  を係数乗算器 24' に出力し、係数乗算器 24' は、加算器 21 の出力に係数  $= \{1 + (2\tau/T)\}$  を乗じて加算器 26 に出力する。

【0033】これらの結果、加算器 26 は、係数乗算器 24' および係数乗算器 25' の出力を加算して係数乗算器 27 に出力し、係数乗算器 27' は、加算器 26 の出力に内部抵抗  $RL$  の値を乗じて電流指示値  $iR$  として出力することとなる。従って、サーボコントローラ 12、より詳細には、サーボアンプユニット 12B は、(8) 式の伝達関数を有する補償回路を構成することとなるとともに、プランジャ位置  $p$ 、ソレノイドコイル温度  $tL$  およびソレノイドコイルを流れる電流  $iR$  に応じて最適な電流指示値  $iR$  を得ることができ、ソレノイド 5 の入出力関係を第 1 実施形態の場合と比較してよりリニアにすることが可能となる。

【0034】[3. 4] 第 2 実施形態の効果  
以上の説明のように本第 2 実施形態によれば、ソレノイドの逆特性、すなわち、ソレノイドの伝達関数の逆関数をデジタル回路により実現し、ソレノイドのインダクタンス成分  $L$  をうち消すような構成としているので、実際にソレノイドコイルに流れる電流の立ち上がりを速くすることができ、応答性が高く制御性の高いシステムを容易に構築することができる。また、電流フィードバック回路を設ける必要もなくなり、回路構成を簡略化することができる。

【0035】[3. 5] 第 2 実施形態の変形例

[3. 5. 1] 第 1 変形例

以上の説明においては、 $\tau$  推定器はプランジャ位置  $p$ 、ソレノイドコイル温度  $tL$  およびソレノイドコイルを流れる電流  $iR$  に基づいて時定数  $\tau$  を推定していたが、実際には、プランジャ位置  $p$  が変動要素として支配的であり、他の二つの変動要素であるソレノイドコイル温度  $tL$  およびソレノイドコイルを流れる電流  $iR$  については、いずれか一方あるいは双方をその時定数  $\tau$  の推定に対する影響度によって省略することも可能である。

【0036】[3. 5. 2] 第 2 変形例

以上の説明においては、二つの推定器 31、32 に入力されるパラメータに関し、ほとんどの場合、プランジャの位置が変動要素として支配的である。従って、他の 2 要素 (コイル温度、電流値) は、その変動要因としての影響度によっては省略される。特に以上の説明では、 $R$

$L$  推定器 31 は、ソレノイドコイル温度  $tL$  に基づいて内部抵抗  $RL$  を推定し、係数乗算器 27' は、推定された内部抵抗  $RL$  を係数として乗算を行う係数乗算器を構成していたが、ソレノイドコイル温度  $tL$  の変動が無視できる場合には、第 1 実施形態の係数乗算器 27 と同一構成とし、定数乗算器とすることが可能である。

【4】 実施形態の変形例

上記説明においては、ソレノイド駆動制御装置を自動ピアノの駆動制御系に用いた場合について説明したが、ソレノイドコイルによりプランジャを駆動するソレノイドを含む装置であれば、他の装置においても適用が可能である。

【0037】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、ソレノイドコイルの時定数を推定し、推定した時定数に対応するソレノイドコイルの伝達関数の逆関数に基づいて前記ソレノイドコイルに流すべき目標電流値を変換し、ソレノイドコイルに印加すべき電圧を算出するので、ソレノイドコイルの有するインダクタンス成分による影響を低減することができる。また、電流フィードバック回路を設ける必要もないので、回路構成を複雑化することなく、コストを低減することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 ソレノイドコイルの等価回路の説明図である。

【図 2】 ソレノイドの伝達関数の逆関数の説明図である。

【図 3】 実施形態の自動ピアノの駆動制御系のブロック図である。

【図 4】 実施形態のサーボ制御系の概要構成ブロック図である。

【図 5】 第 1 実施形態のサーボアンプユニットの概要構成ブロック図である。

【図 6】 第 2 実施形態のサーボアンプユニットの概要構成ブロック図である。

【図 7】 ソレノイドにおける時定数  $\tau$  と、プランジャの位置、ソレノイドコイルを流れる電流およびソレノイドコイルの温度との関係の説明図である。

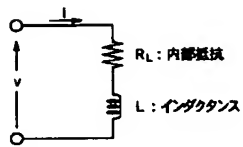
【図 8】 ソレノイド特性の一具体例の説明図である。

【符号の説明】

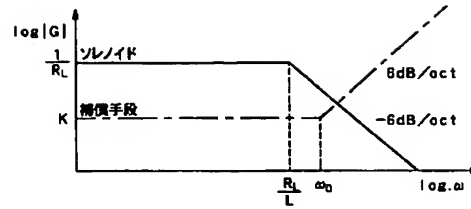
1…鍵、2…ハンマ、3…アクションメカニズム (ハンマアクション)、4…弦、6…ダンパ (止音機構)、10…再生前処理部、11…モーションコントローラ、12…サーボコントローラ、12A…差動ユニット、12B…サーボアンプユニット、21…加算器、22…遅延器、23…係数乗算器、24、24'…係数乗算器、25、25'…係数乗算器、26…加算器、27、27'…係数乗算器、31… $RL$  推定器、32… $\tau$  推定器、33…係数乗算器、34…係数乗算器、35…加算器、36…加算器、 $tL$ …ソレノイドコイル温度、 $iR$ …ソレノ

イドコイル電流、 $\tau$ …(ソレノイドコイルの) 時定数。

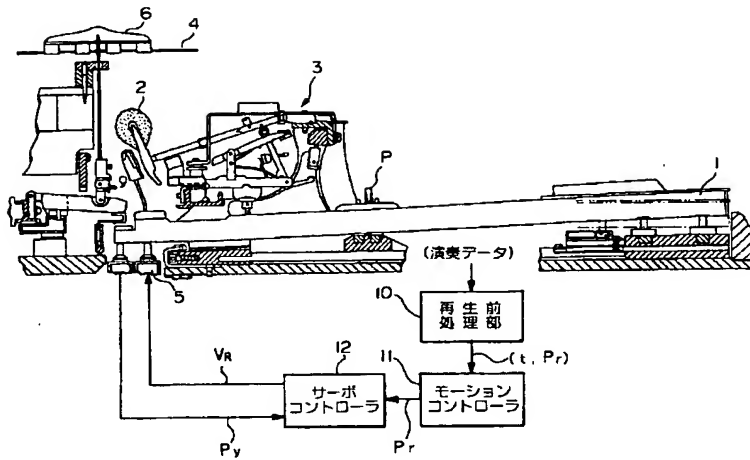
【図1】



【図2】

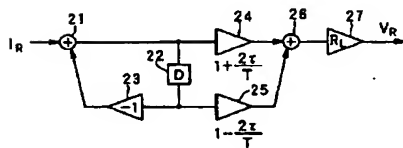


【図3】



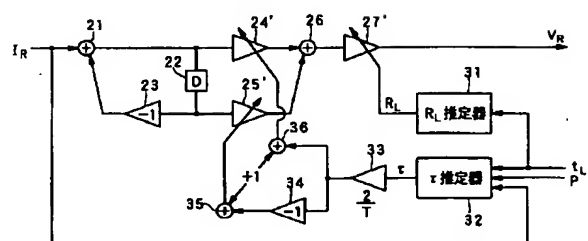
【図5】

12C: サーマンプユニット

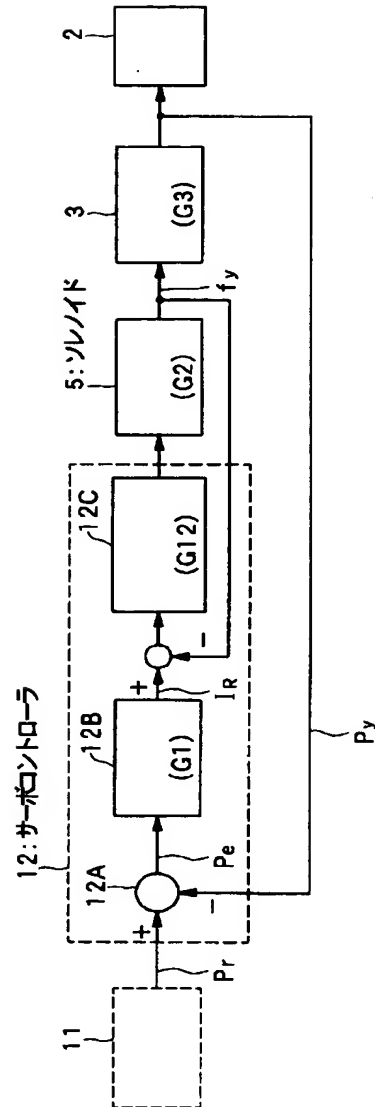


【図6】

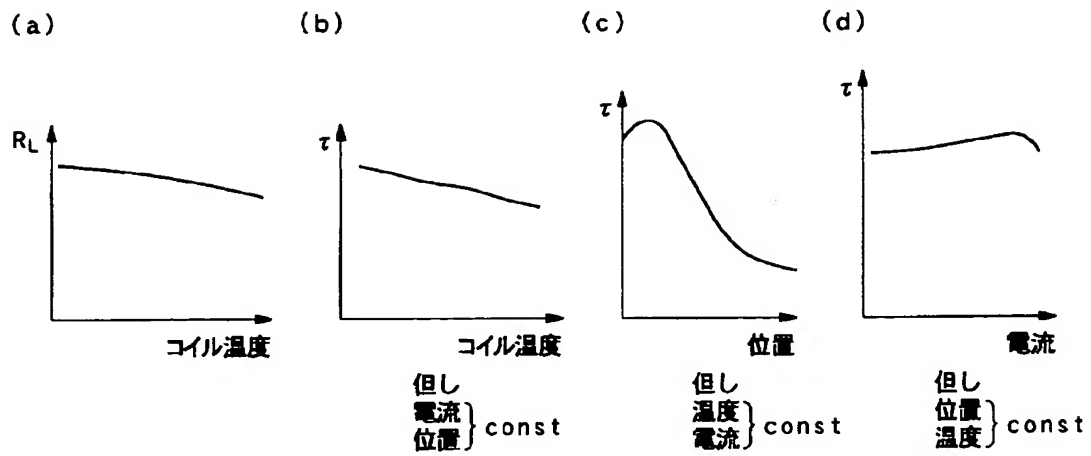
12C': サーマンプユニット



G1: サーボゲイン  
G2: アクチュエータゲイン  
G3: アクションメカニズムゲイン  
G12: 電流サーボゲイン



【図7】



【図8】

